



TITLE:

# DYNAMIC BEHAVIOR OF VEHICLES DURING AN EARTHQUAKE( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

Rishi, Ram Parajuli

---

CITATION:

Rishi, Ram Parajuli. DYNAMIC BEHAVIOR OF VEHICLES DURING AN EARTHQUAKE. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20346>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	Rishi Ram Parajuli
論文題目	DYNAMIC BEHAVIOR OF VEHICLES DURING AN EARTHQUAKE （地震時における車両の動的挙動に関する研究）		
（論文内容の要旨）			
<p>本研究は、CPLM(circular path and linear momentum)法を用いた新たな車両の地震応答解析について述べている。CPLM 法とは、地震発生時の車両の進行方向及び進行直角方向における安定性解析の手法である。この手法では、地震による車両の運動量から車両の進行方向と進行直角方向の位置が求められる。また、本研究は、角運動量を用いた地震時車両転倒解析についても述べている。この車両の転倒解析は車両が動いている場合、静止している場合のどちらに対しても適用可能である。この解析の結果の妥当性について、2015 年 4 月 25 日に発生したネパール地震において観測された車両応答と比較することによって検証を行った。</p> <p>以下、各章で実施した事項および得られた結果について述べる。</p> <p>第 1 章は序論である。地震時における動的挙動に関する既往研究を概観したうえで、本研究で注目する橋梁上の車両の地震時動的挙動とその解析方法、そして研究目的を述べている。</p> <p>第 2 章では、6 自由度の車両挙動を解析するための方法論と定式化について述べている。車両の各タイヤ及び車体の運動は、運動方程式を解くことによって求めた。また、進行方向及び進行直角方向の運動は、CPLM 法を用いて求めた。各タイヤに働く力は、マジックフォーミュラモデルを用いて計算した。ここで、モデル中のマジックフォーミュラモデル係数は、信頼領域法を用いた既往の研究の結果を参考に決定した。本研究では、様々な状況における普通車、バス及びトラックの進行方向と進行直角方向の挙動解析のための定式化を行った。また、入力加速度と転倒の関係についても検討した。鉛直方向の振幅、入力波の卓越振動数、入力した鉛直方向の正弦波と水平方向の正弦波の位相差の 3 つの要素の間の関係について明らかにするとともに、様々な重量、寸法、速度の車両の転倒解析も行った。本研究では、様々な条件下で車両の転倒危険性が現れる最大地動加速度の閾値を算出するための回帰方程式についても述べている。</p> <p>第 3 章では 2 つの地震に関してケーススタディを行った。対象とした地震の 1 つは、2015 年 4 月 25 日に発生したネパール地震である。この地震において、道路に設置されていた監視カメラが地震の揺れと周辺の人々や建物の様子を記録しており、いくつかの監視カメラは、地震時において二輪車の運転が非常に危険であることを示していた。また、カトマンズでの監視カメラの記録の 1 つを CPLM 法の妥当性の検証に用いることとした。また、地震発生時に運転中であった運転者へのインタビュー調査から、運転者の地震への認知は非常に曖昧であるが、ほとんどの運転者が車両の挙動に異常を感じていたことが分かった。</p> <p>対象とした地震のうちのもう 1 つは、2016 年 4 月 14 日に発生した熊本地震である。この地震において、立野、黒川地域における車両の転倒が多数報告されている。CPLM 法を用いた車両の進行方向及び進行直角方向の地震応答解析と角運動量を考慮した転</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	Rishi Ram Parajuli
<p>倒解析を、熊本地震における車両の転倒の状況を明らかにするために行った。ここで、解析に用いた入力地震動は K-net の益城観測点 (KMMH16) で観測された波形とした。この車種が転倒する最大地動加速度の閾値を解析から求めたところ、<math>14.172 \text{ m/s}^2</math> となった。</p> <p>第 4 章では車両の追従走行のメカニズムは車両の挙動解析を行ううえで、もう 1 つの重要な要素である。本研究では、魚群行動の自律分散機構モデルを車両の追従走行モデルに適用し、さらに地震による影響項を加えることで、地震時車両走行モデルを作成した。</p> <p>まず、地震時の運転特性を明らかにするために、ドライビングシミュレータ実験を行った。実験の被験者は 30 人とし、各被験者は 2 つの異なる震度において走行することとした。この実験の結果から、地震時の運転者のブレーキ操作とブレーキの強さの傾向を得ることができた。その後、実験から得た震度によるブレーキの強さの分布、ブレーキの強さと反応時間の関係などから、地震による影響項を作成した。</p> <p>第 5 章では橋梁上を走行する車両についての検討を行っている。都市部、山地いずれの場合も、高速道路はほとんどが橋梁上を通っている。橋や高架橋を自動車が走行している際に地震が発生した場合、橋の上を走る車両は、その位置と速度に依存して車両ごと、または時間ごとに異なる地動加速度の影響を受ける。本研究では、全長が 1300m、中央径間部が 580m の左右対称な斜張橋を考えた。また、構造解析に用いる地震動は、兵庫県南部地震とエルセントロ地震とした。車両に入力する地震動は、橋梁の地震応答解析から、各ノードの加速度応答を求め、各タイムステップごとにノード間の加速度応答を補間し、対象とする車両の位置と速度を求めることによって決定した。</p> <p>本研究では、ラグランジュの補間法によって求めた加速度応答を静止状態から <math>30 \text{ m/s}^2</math> の範囲の様々な速度の車両に入力し、解析を行った。その結果、エルセントロ地震の場合、車両の速度が上がるにつれ、車両の進行直角方向の変位は増加する傾向があった。一方、兵庫県南部地震の場合、速度が上がるにつれ、変位は減少する傾向にあったが、減少量は非常に小さい結果となった。また、車両の速度は <math>20 \text{ m/s}</math> で一定で、発車地点を橋の端から端まで様々変えて解析を行ったところ、車両の進行直角方向の変位は発車地点ごとに異なる結果となった。これらの結果から、車両の発車位置の違いは、車両の挙動解析の結果に影響することが分かった。</p> <p>第 6 章では高速道路における緊急地震速報の効果を検証した。様々なシナリオのもとでの衝突危険性の解析によって、全車両が同じ速度、ブレーキの強さの条件で走っている場合、当然ながら衝突危険性は車両の初期位置に依存する。また、全車両が <math>20 \text{ m/s}</math> の速度で、かつブレーキの強さが <math>-8 \text{ m/s}^2</math> という条件のもとで解析を行った結果、車間距離が狭く、前方車両のブレーキの強さが後方車両のブレーキの強さよりも強い場合は衝突の危険性が高くなり、様々なブレーキレベルが混在する場合はさらに衝突確率が上がる。これより、安全な車間距離を維持しながら走行すること、例えばハザードランプを用いて後方車両に情報を伝えることで、等速かつ同じブレーキレベルを保つような方策をとることで緊急地震速報提供下での事故の危険性は減少することがわかった。</p> <p>第 7 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本研究は、新たな車両の地震応答解析である CPLM(circular path and linear momentum)法を開発し、それを基に地震時の様々な車両挙動の解析と、その応用について述べたものである。この手法は、地震による車両の運動量から車両の進行方向と進行直角方向の位置を時々刻々求めるものである。本研究は、新たに開発したこの手法を基に、地震時に橋梁上を走行する車両の解析や、地震時の車両転倒解析を行ったものである。さらに、緊急地震速報への対応について、本手法を基にした解析により検討を行った。

本研究で得られた成果は以下の通りである。

1. 6 自由度の車両挙動を解析するための方法として、CPLM(circular path and linear momentum)法を提案し、その定式化を行った。様々な状況における普通車、バス及びトラックの進行方向と進行直角方向の挙動解析を行い、鉛直方向の振幅、入力波の卓越振動数、入力した鉛直方向の正弦波と水平方向の正弦波の位相差の 3 つの要素の間の関係について明らかにした。

2. 2015 年 4 月 25 日に発生したネパール地震、および 2016 年 4 月 14 日に発生した熊本地震の 2 つの地震に対して、車両のシミュレーションとその妥当性の検討を行った。前者は道路に設置されていた監視カメラが捉えた地震による車両の揺れ、後者は多数報告されている車両の転倒現象をシミュレーション結果と比較し、ここで提案した手法が、地震に車両挙動をうまく再現できることを確認した。

3. 車両の挙動解析を行ううえでは、車両の追従走行のモデル化が不可欠である。本研究では、自律分散機構モデルを改良した地震時車両走行モデルを提案した。このモデル構築のため、ドライビングシミュレータ実験を行って、地震時の運転者のブレーキ操作とブレーキの強さを勘案した地震による影響項を新たに導入した。

4. 橋や高架橋を自動車が行っている際に地震が発生した場合の解析では、従来の入力地震動は、車両がどの場所でも同じ揺れを受けると仮定したものであった。ここではこの点を改良し、橋梁の地震応答解析から、各ノードの加速度応答を求め、各タイムステップごとにノード間の加速度応答を補間し、対象とする車両の位置と速度を求めることによって車両への入力地震動を決定した。

5. 様々なシナリオのもとでの衝突危険性の解析により、ほぼ一律な車間距離を維持しながら走行するとともに、緊急時にはハザードランプを用いて後方車両に情報を伝えるなど同じブレーキレベルを保つような方策をとることで緊急地震速報提供下での事故の危険性は減少することがわかった。

以上より、本論文は地震発生時に橋梁を走行する車両の動的挙動解析とその評価並びに応用に関して、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 1 月 23 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。